

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 12 月 19 日 (19.12.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/254963 A1

(51) 国际专利分类号:
H02P 23/14 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/111165

(22) 国际申请日: 2023 年 8 月 4 日 (04.08.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310700507.7 2023年6月13日 (13.06.2023) CN

(71) 申请人: 上海芯空微电子科技有限公司 (ICSENSE SEMICONDUCTOR CO., LTD.) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路 555 号己楼 2 层 0802 室, Shanghai 201100 (CN)。

(72) 发明人: 司宏伟 (SI, Hongwei); 中国上海市闵行区东川路 555 号己楼 2 层 0802 室, Shanghai 201100 (CN)。路翔 (LU, Xiang); 中国上海市闵行区东川路 555 号己楼 2 层 0802 室, Shanghai 201100 (CN)。夏崔春 (XIA, Cuichun); 中国上海市闵行区东川路 555 号己楼 2 层 0802 室, Shanghai 201100 (CN)。

(74) 代理人: 北京康盛知识产权代理有限公司 (BEIJING KANGSHENG INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD); 中国北京市朝阳区朝阳区安定路 35 号安华发展大厦 11 层 1166 室, Beijing 100029 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

(54) Title: SYSTEM OPTIMIZATION METHOD BASED ON MOTOR PARAMETER ESTIMATION, AND MOTOR HAPTIC FEEDBACK SYSTEM

(54) 发明名称: 基于马达参数估算的系统优化方法及马达触觉反馈系统

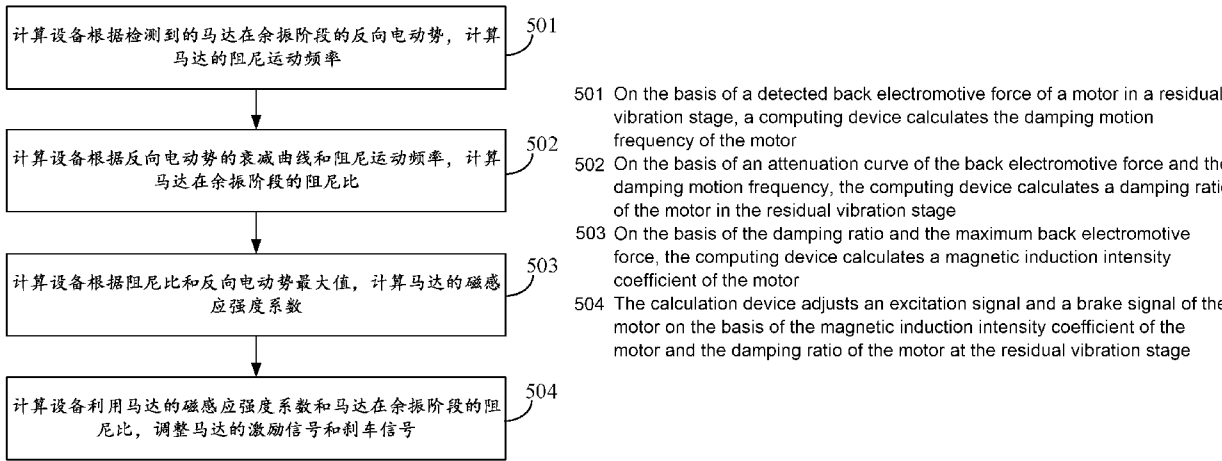


图 5

(57) Abstract: The present application relates to the technical field of motor parameter estimation, and discloses a system optimization method based on motor parameter estimation, and a motor haptic feedback system. The method comprises: on the basis of a detected back electromotive force of a motor in a residual vibration stage, calculating the damping motion frequency of the motor; on the basis of an attenuation curve of the back electromotive force and the damping motion frequency, calculating a damping ratio of the motor in the residual vibration stage; on the basis of the damping ratio and the maximum back electromotive force, calculating a magnetic induction intensity coefficient of the motor; and adjusting an excitation signal and a brake signal of the motor on the basis of the magnetic induction intensity coefficient of the motor and the damping ratio of the motor at the residual vibration stage.

(57) 摘要: 本申请涉及马达参数估算技术领域, 公开一种基于马达参数估算的系统优化方法及马达触觉反馈系统, 其中, 所述方法包括: 根据检测到的马达在余振阶段的反向电动势, 计算马达的阻尼运动频率; 根据所述反向电动势的衰减曲线和所述阻尼运动频率, 计算马达在余振阶段的阻尼比; 根据所述阻尼比和反向电动势最大值, 计算马达的磁感应强度系数; 利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比, 调整马达的激励信号和刹车信号。



GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

基于马达参数估算的系统优化方法及马达触觉反馈系统

本申请基于申请号为 202310700507.7、申请日为 2023 年 6 月 13 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

技术领域

本申请涉及马达参数估算技术领域，例如涉及一种基于马达参数估算的系统优化方法及马达触觉反馈系统。

背景技术

目前，在对马达进行触觉反馈测试的过程中，马达关键参数例如磁感应强度系数和阻尼比等，会直接影响到马达的振动强度与刹车性能，从而影响触觉反馈的效果。保证不同马达之间具有良好、一致的触觉反馈体验，就需要良好、一致的马达关键参数以及相匹配的激励信号。

相关技术提供了一种马达振子质量的估算方法，先获取对马达振子的质量进行预估而产生的预估质量值，再根据预估质量值以及工装加速度与工装质量值计算出马达的振子加速度值，接着根据振子加速度值以及马达两端的电压和电流计算出马达的质量校验值，进而判断预估质量值是否等于质量校验值，若是则该预估质量值即为马达振子的实际质量值，若不是则修正预估质量值并继续进行计算判断。

在实现本公开实施例的过程中，发现相关技术中至少存在如下问题：

受制于制造成本、工艺以及马达在生命周期内因老化等因素，导致不同马达个体之间的马达关键参数存在差异，从而造成在固定的激励信号下，不同马达个体之间具有不同的振动强度与刹车性能，导致了不同马达个体之间触觉反馈体验不一致的问题。

需要说明的是，在上述背景技术部分公开的信息仅用于加强对本申请的背景的理解，因此可以包括不构成对本领域普通技术人员已知的现有技术的信息。

发明内容

为了对披露的实施例的一些方面有基本的理解，下面给出了简单的概括。所述概括不是泛泛评述，也不是要确定关键 / 重要组成元素或描绘这些实施例的保护范围，而是作为后面的详细描述的序言。

本公开实施例提供了一种基于马达参数估算的系统优化方法、计算设备、马达触觉反馈系统及存储介质，使得不同马达个体之间的振动强度与刹车性能均保持在合适的范围内，提升触觉反馈体验的一致性。

在一些实施例中，所述基于马达参数估算的系统优化方法，应用于马达触觉反馈系统，

5 包括：

根据检测到的马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率；

根据所述反向电动势的衰减曲线和所述阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比；

根据所述阻尼比和反向电动势最大值，计算马达的磁感应强度系数；

10 利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比，调整马达的激励信号和刹车信号。

可选地，所述根据马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率，包括：

在当前激励信号播放结束后，检测马达的反向电动势信号并生成对应的过零点信息；

根据所述过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻，计算马达的阻尼运动频率。

15 可选地，所述根据所述过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻，计算马达阻尼器的阻尼运动频率，包括：

计算 $f_d = \frac{(n-m) \cdot F_s}{2(C_n - C_m)}$ ，获得马达的阻尼运动频率 f_d ；

其中， C_n 为第 n 个反向电动势的过零点时刻， C_m 为第 m 个反向电动势的过零点时刻， m 和 n 为大于等于 1 且不相等的正整数， F_s 为采样频率。

20 可选地，所述根据所述反向电动势的衰减曲线和所述阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比，包括：

对反向电动势的衰减曲线进行包络拟合，得到反向电动势的包络线；

根据反向电动势的包络线，计算马达在余振阶段的阻尼比。

可选地，所述根据反向电动势的包络线，计算马达在余振阶段的阻尼比，包括：

25 计算 $\zeta = \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + \omega_d^2}}$ ，获得马达在余振阶段的阻尼比 ζ ；

其中， $x_2 = P f_d \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) - Q f_d^2 \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$ ；

其中， $t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d}, \dots, \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$ ；

其中， ζ 为阻尼比， f_d 为阻尼运动频率， ω_d 为阻尼角频率， P 和 Q 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数， $\varepsilon(t)$ 为在 t_i 时刻下根据反向电动势包络线 $\varepsilon(t) =$

30 $BLv_{\text{Max}} e^{-\omega_n \zeta t}$ 采样得到的反向电动势数值， ω_n 为马达自由震荡的角频率， BLv_{Max} 为马达在

余振阶段的反向电动势包络最大值。

可选地，所述根据所述阻尼比和反向电动势最大值，计算马达的磁感应强度系数，包括，包括：

计算 $\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}$ ，获得马达自由震荡的角频率 ω_n ；

5 计算 $BL = \sqrt{\left| \frac{2e^{x_1} \zeta m R_e \omega_n}{U} \right|}$ ，获得马达的磁感应强度系数 BL ；

其中， $x_1 = M \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) - N f_d \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$ ；

其中， e 自然对数的底数， M 和 N 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数， $\varepsilon(t)$ 为在 t_i 时刻下根据反向电动势包络线 $\varepsilon(t) = BLV_{\text{Max}} e^{-\omega_n \zeta t}$ 采样得到的反向电动势数值， $t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d} \dots \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$ ， BLV_{Max} 为马达在余振阶段的反向电动势包络最大值， m 为马
10 达振子的质量， U 为输入在线性马达两端的正弦波幅度， R_e 为线圈通路上的直流电阻， ω_d 为阻尼角频率， ζ 为阻尼比。

可选地，所述方法还包括：

计算 $BLV_{\text{Max}} = e^{x_1}$ ，获得马达在余振阶段的反向电动势包络最大值 BLV_{Max} 。

可选地，所述方法还包括：

15 根据马达的阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼角频率。

可选地，所述根据马达的阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼角频率，包括：

计算 $\omega_d = 2\pi f_d$ ，获得马达在余振阶段的阻尼角频率 ω_d ；

其中， f_d 为阻尼运动频率。

在一些实施例中，所述计算设备，包括处理器和存储有程序指令的存储器，所述处理
20 器被配置为在运行所述程序指令时，执行如本申请所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

在一些实施例中，所述马达触觉反馈系统，包括如本申请所述的计算设备以及马达信号校准设备，所述马达信号校准设备用于利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比，调整马达的激励信号和刹车信号，以实时调整马达的触觉反馈。

25 在一些实施例中，所述存储介质，存储有程序指令，所述程序指令在运行时，执行如本申请所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

本公开实施例提供的基于马达参数估算的系统优化方法、计算设备、马达触觉反馈系统及存储介质，可以实现以下技术效果：

本申请根据马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率，进而根据反向
30 电动势和所述阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比。然后根据阻尼比和反向电动

势最大值，计算马达的磁感应强度系数。这样，实现了直接通过采集电信号的方式进行马达关键参数估算，并利用估算的当前马达的阻尼运动频率、阻尼比和磁感应强度系数，从而在后续驱动过程中，能够根据估算出的参数匹配对应的激励信号和刹车信号，使得不同马达个体之间的振动强度与刹车性能均保持在合适的范围内，提升触觉反馈体验的一致性。

5 以上的总体描述和下文中的描述仅是示例性和解释性的，不用于限制本申请。

附图说明

一个或多个实施例通过与之对应的附图进行示例性说明，这些示例性说明和附图并不构成对实施例的限定，附图中具有相同参考数字标号的元件示为类似的元件，附图不构成比例限制，并且其中：

图 1 是一个因马达个体差异造成的稳态加速度振幅不同的示意图；

图 2 是另一个因马达个体差异造成的稳态加速度振幅不同的示意图；

图 3 是一个因马达个体差异造成加速度振幅偏大及不安全的运动行程的示意图；

图 4 是本公开实施例提供的一种马达触觉反馈系统的示意图；

15 图 5 是本公开实施例提供的一个基于马达参数估算的系统优化方法的示意图；

图 6 是本公开实施例提供的另一个基于马达参数估算的系统优化方法的示意图；

图 7 是本公开实施例提供的一个马达余振阶段反向电动势过零点的示意图；

图 8 是本公开实施例提供的一个马达振子在余振阶段反向电动势包络线估计阻尼比的示意图；

20 图 9 是本公开实施例提供的一个马达基于磁感应强度系数匹配激励信号的示意图；

图 10 是本公开实施例提供的一个计算设备的示意图。

具体实施方式

为了能够更加详尽地了解本公开实施例的特点与技术内容，下面结合附图对本公开实施例的实现进行详细阐述，所附附图仅供参考说明之用，并非用来限定本公开实施例。在以下的技术描述中，为方便解释起见，通过多个细节以提供对所披露实施例的充分理解。然而，在没有这些细节的情况下，一个或多个实施例仍然可以实施。在其它情况下，为简化附图，熟知的结构和装置可以简化展示。

本公开实施例的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本公开实施例的实施例。此外，术语“包括”和“具有”以

及他们的任何变形，意图在于覆盖不排除他的包含。

除非另有说明，术语“多个”表示两个或两个以上。

本公开实施例中，字符“/”表示前后对象是一种“或”的关系。例如，A/B 表示：A 或 B。

术语“和/或”是一种描述对象的关联关系，表示可以存在三种关系。例如，A 和/或 B，

5 表示：A 或 B，或，A 和 B 这三种关系。

术语“对应”可以指的是一种关联关系或绑定关系，A 与 B 相对应指的是 A 与 B 之间是一种关联关系或绑定关系。

在相关技术中，触觉反馈作技术为人机交互的一种重要手段，目前已在各类终端上大规模采用，例如手机、平板电脑和游戏手柄等。触觉反馈技术可以逼真地模拟各种自然的
10 振动，例如机械按键、射击、马达振动等。

对于传感器反馈的马达控制方案，通常基于马达测试模型，设定磁感应强度系数与阻尼比等参数恒定不变，从而匹配对应的激励信号与刹车信号。当实际的马达关键参数与马达测试模型的参数差异不大时，能够提供比较好的触觉反馈体验。但是，若实际的马达关键参数偏离马达测试模型的参数较大时，则会造成触感强度不一致的现象。同时，马达关键参数随着马达工作环境的变化（温度、老化等）也会发生改变。进一步地，部分马达关键参数偏差较多的马达，会发生因马达振子运动行程过大损坏马达的情况。相关技术中为了应对触觉反馈不一致的情况，在大规模使用马达的过程中，往往降低激励信号的电压门限，以确保马达振子具有安全的运动行程。这也意味着为了“保护”少部分马达振子的行程安全，而统一降低了所有马达的激励信号。

20 对于有传感器反馈的马达控制方案，例如，使用霍尔传感器实时检测马达的运动状态，通过对运动状态的计算可以实时追踪马达的谐振频率，实时将马达控制在最佳的状态。然而，上述方案需要在马达的内部集成多个霍尔传感器，成本比较高。又例如，使用电压-电流反馈控制，实时检测电压-电流，却无法实时获取马达机械运动相关的参数。

具体地，结合图 1 所示，马达 1 具有正常的磁感应强度系数 BL，马达 2 比马达 1 具有更大的磁感应强度系数 BL。在输入相同的激励信号时，稳态后的马达 1 与马达 2 的加速度振幅存在明显差异。

同理，结合图 2 所示，马达 1 具有正常的磁感应强度系数 BL，马达 3 比马达 1 具有更小的磁感应强度系数 BL。在输入相同的激励信号时，稳态后的马达 1 与马达 3 的加速度振幅同样存在明显差异。

30 与此同时，结合图 3 所示，在马达存在个体差异的情况下，造成的加速度振幅偏大会导致马达振子的运动行程较大，从而出现了打壳现象，脱离了马达振子的安全运动行程。

本公开实施例提供了一种马达触觉反馈系统，包括如本申请的计算设备以及马达信号校准设备。结合图 4 所示，在计算设备进行对马达参数进行估算的情况下，先将马达放置于工装内，接着计算设备将匹配后的激励信号通过 D 类功率放大器放大之后激励被测马达。马达信号校准设备在马达振动后采集马达两端的电压、电流、加速度振幅和反向电动势采样，计算设备接收马达信号校准设备所测得的相关参数，并进行马达关键参数的估算从而重新匹配适当的激励信号。

本公开实施例提供一种基于马达参数估算的系统优化方法，以解决因马达个体差异造成的马达关键参数不同或变化，进而造成触觉体验不一致以及马达行程安全保护的问题。结合图 5 所示，该方法包括：

步骤 501：计算设备根据检测到的马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率。

步骤 502：计算设备根据反向电动势的衰减曲线和阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比。

步骤 503：计算设备根据阻尼比和反向电动势最大值，计算马达的磁感应强度系数。

步骤 504：计算设备利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比，调整马达的激励信号和刹车信号。

在本申请的实施例中，与基于反馈的实时控制方案不同，本申请直接利用采集电信号进行马达参数的估计。即通过每次激励信号播放结束后的反向电动势 (Back-EMF, BEMF) 信号，估算得到马达的阻尼运动频率、磁感应强度系数与阻尼比。从而在后续驱动过程中，应用估计出的参数，匹配对应的激励信号与刹车信号，以获得一致的触觉体验和运动行程安全。

采用本公开实施例提供的基于马达参数估算的系统优化方法，根据马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率，进而根据反向电动势的衰减曲线和阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比。然后根据阻尼比和反向电动势最大值，计算马达的磁感应强度系数。这样，实现了直接通过采集电信号的方式进行马达关键参数估算，利用估算的当前马达的阻尼运动频率、阻尼比和磁感应强度系数。从而在后续驱动过程中，能够根据估算出的参数匹配对应的激励信号和刹车信号，使得不同马达个体之间的振动强度与刹车性能均保持在合适的范围内，提升触觉反馈体验的一致性。

结合图 6 所示，本公开实施例提供另一种基于马达参数估算的系统优化方法，包括：

步骤 601：在当前激励信号播放结束后，计算设备检测马达的反向电动势信号并生成对应的过零点信息。

步骤 602: 计算设备根据过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻, 计算马达的阻尼运动频率。

可选地, 结合图 7 所示, 根据过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻, 计算马达阻尼器的阻尼运动频率, 包括:

5 通过计算 $f_d = \frac{(n-m) \cdot F_s}{2(C_n - C_m)}$, 获得马达的阻尼运动频率 f_d ;

其中, C_n 为第 n 个反向电动势的过零点时刻, C_m 为第 m 个反向电动势的过零点时刻, m 和 n 为大于等于 1 且不相等的正整数, 例如为 1、2、3、4 或 5, F_s 为采样频率。

与此同时, 通过计算 $\omega_d = 2\pi f_d$, 以获得马达在余振阶段的阻尼角频率 ω_d , 其中, f_d 为阻尼运动频率。

10 步骤 603: 计算设备对反向电动势的衰减曲线进行包络拟合, 得到反向电动势的包络线。

具体地, 结合图 8 所示, 在激励信号播放结束后, 在余振阶段自由震荡的马达的反向电动势包络线公式为:

$$\varepsilon(t) = BLv_{\text{Max}} e^{-\omega_n \zeta t}$$

15 其中, BLv_{Max} 为余振阶段起始最大幅值即反向电动势包络最大值, ζ 为振子余振运动阻尼比, t 为余振阶段的某一时刻, $\varepsilon(t)$ 为在 t 时刻下采样的反向电动势数值, e 为自然对数的底数, ω_n 为马达自由震荡的角频率。

步骤 604: 计算设备根据反向电动势的包络线, 计算马达在余振阶段的阻尼比。

具体地, 对步骤 603 中的马达的反向电动势包络线公式取自然对数, 得到:

$$\ln(\varepsilon(t)) = \ln(BLv(t)) = \ln(BLv_{\text{Max}}) - \omega_n \zeta t$$

20 进一步地, 将参数 x_1 赋值为 $\ln(BLv_{\text{Max}})$, 即 $x_1 = \ln(BLv_{\text{Max}})$, 并将参数 x_2 赋值为 $\omega_n \zeta$, 即 $x_2 = \omega_n \zeta$;

进一步地, 利用最小二乘法, 构造代价 (损失) 函数 E :

$$E = \sum_{i=1}^K (\ln \varepsilon(t_i) - \ln \hat{\varepsilon}(t_i))^2 = \sum_{i=1}^K (x_1 - x_2 t_i - \ln \hat{\varepsilon}(t_i))^2$$

其中, $t = t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d}, \dots, \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$

进一步地, 分别对参数 x_1 , x_2 求偏导, 并使结果为 0, 得到参数估算方程:

$$Kx_1 - \sum_{i=1}^K x_2 t_i = \sum_{i=1}^K (\ln \hat{\varepsilon}(t_i))$$

$$\sum_{i=1}^K x_1 t_i - \sum_{i=1}^K x_2 t_i^2 = \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$$

进一步地，将参数估算方程转换为一般矩阵形式：

$$\mathbf{y} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{w}$$

其中，待估参数向量 $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Ln}(\text{BL}v_{\text{Max}}) \\ \omega_n \zeta \end{bmatrix}$ ，观测向量 $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \ln \hat{\varepsilon}(t_1) \\ \ln \hat{\varepsilon}(t_2) \\ \vdots \\ \ln \hat{\varepsilon}(t_K) \end{bmatrix}$ ，观测时刻

向量 $\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & -t_1 \\ \cdots & \cdots \\ 1 & -t_K \end{bmatrix}$ ，测量误差向量 $\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_K \end{bmatrix}$ ；

进一步地，根据最小二乘法的最优解公式 $\mathbf{x} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{y}$ ，计算得到最优解向量

5 $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ ，得到参数 x_1 和 x_2 的参数表达为：

$$x_1 = M \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) - N f_d \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$$

$$x_2 = P f_d \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) - Q f_d^2 \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$$

其中， $t=t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d} \dots \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$

其中，M 和 N 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数，P 和 Q 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数， f_d 为阻尼运动频率， $\varepsilon(t)$ 为在 $t=t_i$ 时刻下采样的反向电动势数值。

10 最终，通过计算 $\zeta = \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + \omega_d^2}}$ ，获得马达在余振阶段的阻尼比 ζ 。

同时，由于余振阶段的反向电动势包络线服从指数衰减，因此衰减的起点即为反向电动势包络最大值 $\text{BL}v_{\text{max}}$ ，进而通过计算 $\text{BL}v_{\text{max}} = e^{x_1}$ ，可获得马达在余振阶段的反向电动势包络最大值 $\text{BL}v_{\text{Max}}$ 。

15 其中，BL 为磁感应强度系数， v_{Max} 为马达振子在驱动阶段的速度最大值，e 自然对数的底数。

步骤 605：计算设备根据阻尼比和反向电动势包络最大值，计算马达的磁感应强度系数。

步骤 606：计算设备利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比，调整马达的激励信号和刹车信号。

20 可选地，在马达的驱动阶段，马达振子运动速度与电压传递函数为：

$$H_v(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{BL}{mR_e} \frac{s}{\left(s^2 + \frac{R_m + \frac{BL^2}{R_e}}{m} s + \frac{K_m}{m} \right)}$$

令 $s = j\omega$ ，由速度频率响应公式得到马达振子速度最大值的参数表达为：

$$v_{\max} = U \cdot |H_v(j\omega)|_{\max} = U \cdot |H_v(j\omega)|_{\omega=\omega_n} = \frac{U \cdot BL}{2\zeta m R_e} \cdot \frac{1}{\omega_n}$$

其中， BL 为磁感应强度系数， m 为马达振子的质量， U 为输入在线性马达两端的正弦波幅度， R_e 为线圈通路上的直流电阻， ω_n 为马达自由震荡的角频率， ζ 为阻尼比。

进一步地，结合步骤 604 中关于反向电动势包络最大值的参数表达 $BLv_{\max} = e^{x_1}$ ，可以推导出：

$$BLv_{\max} = BL \cdot \frac{U \cdot BL}{2\zeta m R_e} \cdot \frac{1}{\omega_n} = e^{x_1}$$

对上述公式进行整理后，可以得到磁感应强度系数的参数表达：

$$BL = \sqrt{\left| \frac{2e^{x_1} \zeta m R_e \omega_n}{U} \right|}$$

其中，通过计算 $\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}$ ，获得马达自由震荡的角频率 ω_n ；

其中， $BLv_{\max}$ 为马达在余振阶段的反向电动势包络最大值， m 为马达振子的质量， U 为输入在线性马达两端的正弦波幅度， R_e 为线圈通路上的直流电阻， ω_d 为阻尼角频率， ζ 为阻尼比。

这样，本申请可以直接在马达信号校准设备上进行数据采集方式，对外部机构的基础条件没有特殊要求，不需要额外的物理配置，在获得马达关键参数的同时，降低了测试成本。

同时，本申请可以根据每次估算获得的马达的磁感应强度系数与阻尼比等参数，及时调整并匹配当前马达的激励信号与刹车信号，以获得一致的触觉体验。结合图 9 所示，马达 2 在匹配适当的激励信号后（使用较小的激励信号电压）能够获得与马达 1 在正常磁感应强度系数情况下的，相对一致的触觉反馈振动强度。

结合图 10 所示，本公开实施例提供一种计算设备，包括处理器（processor）100 和存储器（memory）101。可选地，该计算设备还可以包括通信接口（Communication Interface）102 和总线 103。其中，处理器 100、通信接口 102、存储器 101 可以通过总线 103 完成相互间的通信。通信接口 102 可以用于信息传输。处理器 100 可以调用存储器 101 中的逻辑指令，以执行上述实施例的基于马达参数估算的系统优化方法。

此外，上述的存储器 101 中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。

存储器 101 作为一种计算机可读存储介质，可用于存储软件程序、计算机可执行程序，如本公开实施例中的方法对应的程序指令/模块。处理器 100 通过运行存储在存储器 101 中的程序指令/模块，从而执行功能应用以及数据处理，即实现上述实施例中基于马达参数估算的系统优化方法。

存储器 101 可包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据终端设备的使用所创建的数据等。此外，存储器 101 可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器。

本公开实施例提供了一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，计算机可执行指令设置为执行上述基于马达参数估算的系统优化方法。

本公开实施例提供了一种计算机程序，当所述计算机程序被计算机执行时，使所述计算机实现上述基于马达参数估算的系统优化方法。

本公开实施例提供了一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括存储在计算机可读存储介质上的计算机指令，当所述程序指令被计算机执行时，使所述计算机实现上述基于马达参数估算的系统优化方法。

上述的计算机可读存储介质可以是暂态计算机可读存储介质，也可以是非暂态计算机可读存储介质。

本公开实施例的技术方案可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括一个或多个指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行本公开实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质可以是非暂态存储介质，包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等多种可以存储程序代码的介质，也可以是暂态存储介质。

以上描述和附图充分地示出了本公开的实施例，以使本领域的技术人员能够实践它们。其他实施例可以包括结构的、逻辑的、电气的、过程的以及其他的改变。实施例仅代表可能的变化。除非明确要求，否则单独的部件和功能是可选的，并且操作的顺序可以变化。一些实施例的部分和特征可以被包括在或替换其他实施例的部分和特征。而且，本申请中使用的用词仅用于描述实施例并且不用于限制权利要求。如在实施例以及权利要求的描述中使用的，除非上下文清楚地表明，否则单数形式的“一个”（a）、“一个”（an）和“”（the）旨在同样包括复数形式。类似地，如在本申请中所使用的术语“和/或”是指包含一个或一个

以上相关联的列出的任何以及所有可能的组合。另外，当用于本申请中时，术语“包括”（comprise）及其变型“包括”（comprises）和/或包括（comprising）等指陈述的特征、整体、步骤、操作、元素，和/或组件的存在，但不排除一个或一个以上其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或这些的分组的存在或添加。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个...”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法或者设备中还存在另外的相同要素。本文中，每个实施例重点说明的可以是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分可以互相参见。对于实施例公开的方法、产品等而言，如果其与实施例公开的方法部分相对应，那么相关之处可以参见方法部分的描述。

本领域技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，可以取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。所述技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法以实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本公开实施例的范围。所述技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

本文所披露的实施例中，所揭露的方法、产品（包括但不限于装置、设备等），可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述单元的划分，可以仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另外，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例。另外，在本公开实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

附图中的流程图和框图显示了根据本公开实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分，所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它

们有时也可以按相反的顺序执行，这可以依所涉及的功能而定。在附图中的流程图和框图所对应的描述中，不同的方框所对应的操作或步骤也可以以不同于描述中所披露的顺序发生，有时不同的操作或步骤之间不存在特定的顺序。例如，两个连续的操作或步骤实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这可以依所涉及的功能而定。

- 5 框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

权利要求

1、一种基于马达参数估算的系统优化方法，其特征在于，应用于马达触觉反馈系统，包括：

根据检测到的马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率；

5 根据所述反向电动势的衰减曲线和所述阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比；

根据所述阻尼比和反向电动势最大值，计算马达的磁感应强度系数；

利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比，调整马达的激励信号和刹车信号。

10 2、根据权利要求1所述的系统优化方法，其特征在于，所述根据马达在余振阶段的反向电动势，计算马达的阻尼运动频率，包括：

在当前激励信号播放结束后，检测马达的反向电动势信号并生成对应的过零点信息；

15 根据所述过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻，计算马达的阻尼运动频率。

3、根据权利要求1或2所述的系统优化方法，其特征在于，所述根据所述过零点信息中反向电动势过的过零点索引和过零点时刻，计算马达阻尼器的阻尼运动频率，包括：

计算 $f_d = \frac{(n-m) \cdot F_s}{2(C_n - C_m)}$ ，获得马达的阻尼运动频率 f_d ；

20 其中， C_n 为第 n 个反向电动势的过零点时刻， C_m 为第 m 个反向电动势的过零点时刻， m 和 n 为大于等于1且不相等的正整数， F_s 为采样频率。

4、根据权利要求1至3任一项所述的系统优化方法，其特征在于，所述根据所述反向电动势的衰减曲线和所述阻尼运动频率，计算马达在余振阶段的阻尼比，包括：

对反向电动势的衰减曲线进行包络拟合，得到反向电动势的包络线；

25 根据反向电动势的包络线，计算马达在余振阶段的阻尼比。

5、根据权利要求4所述的系统优化方法，其特征在于，所述根据反向电动势的包络线，计算马达在余振阶段的阻尼比，包括：

计算 $\zeta = \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + \omega_d^2}}$ ，获得马达在余振阶段的阻尼比 ζ ；

其中， $x_2 = P f_d \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) - Q f_d^2 \sum_{i=1}^K \text{Ln} \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$ ；

其中, $t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d} \dots \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$;

其中, ζ 为阻尼比, f_d 为阻尼运动频率, ω_d 为阻尼角频率, P 和 Q 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数, $\varepsilon(t)$ 为在 t_i 时刻下根据反向电动势包络线 $\varepsilon(t) = BLv_{\text{Max}}e^{-\omega_n \zeta t}$ 采样得到的反向电动势数值, ω_n 为马达自由震荡的角频率, BLv_{Max} 为马达在余振阶段的反向电动势包络最大值。

6、根据权利要求1至5任一项所述的系统优化方法, 其特征在于, 所述根据所述阻尼比和反向电动势最大值, 计算马达的磁感应强度系数, 包括:

计算 $\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}$, 获得马达自由震荡的角频率 ω_n ;

计算 $BL = \sqrt{\left| \frac{2e^{x_1} \zeta m R_e \omega_n}{U} \right|}$, 获得马达的磁感应强度系数 BL ;

10 其中, $x_1 = M \sum_{i=1}^K \ln \hat{\varepsilon}(t_i) - N f_d \sum_{i=1}^K \ln \hat{\varepsilon}(t_i) t_i$;

其中, e 自然对数的底数, M 和 N 是基于余振阶段包络线的采样个数 K 确定的系数, $\varepsilon(t)$ 为在 t_i 时刻下根据反向电动势包络线 $\varepsilon(t) = BLv_{\text{Max}}e^{-\omega_n \zeta t}$ 采样得到的反向电动势数值, $t_i \in \left\{ \frac{3}{4f_d}, \frac{5}{4f_d}, \frac{7}{4f_d}, \frac{9}{4f_d} \dots \frac{2K+1}{4f_d} \right\}$, BLv_{Max} 为马达在余振阶段的反向电动势包络最大值, m 为马达振子的质量, U 为输入在线性马达两端的正弦波幅度, R_e 为线圈通路上的直流电阻, ω_d 为阻尼角频率, ζ 为阻尼比。

7、根据权利要求6所述的系统优化方法, 其特征在于, 还包括:

计算 $BLv_{\text{Max}} = e^{x_1}$, 获得马达在余振阶段的反向电动势包络最大值 BLv_{Max} 。

8、一种计算设备, 包括处理器和存储有程序指令的存储器, 其特征在于, 所述处理器被配置为在运行所述程序指令时, 执行如权利要求1至7任一项所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

9、一种马达触觉反馈系统, 其特征在于, 包括如权利要求8所述的计算设备以及马达信号校准设备, 所述马达信号校准设备用于利用马达的磁感应强度系数和马达在余振阶段的阻尼比, 调整马达的激励信号和刹车信号, 以实时调整马达的触觉反馈。

10、一种存储介质, 存储有程序指令, 其特征在于, 所述程序指令在运行时, 执行如权利要求1至7任一项所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

11、一种计算机程序, 当所述计算机程序被计算机执行时, 使所述计算机实现如权利要求1至7任一项所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

12、一种计算机程序产品, 所述计算机程序产品包括存储在计算机可读存储介质上的计算机指令, 当所述程序指令被计算机执行时, 使所述计算机实现如权利要求1

至 7 任一项所述的基于马达参数估算的系统优化方法。

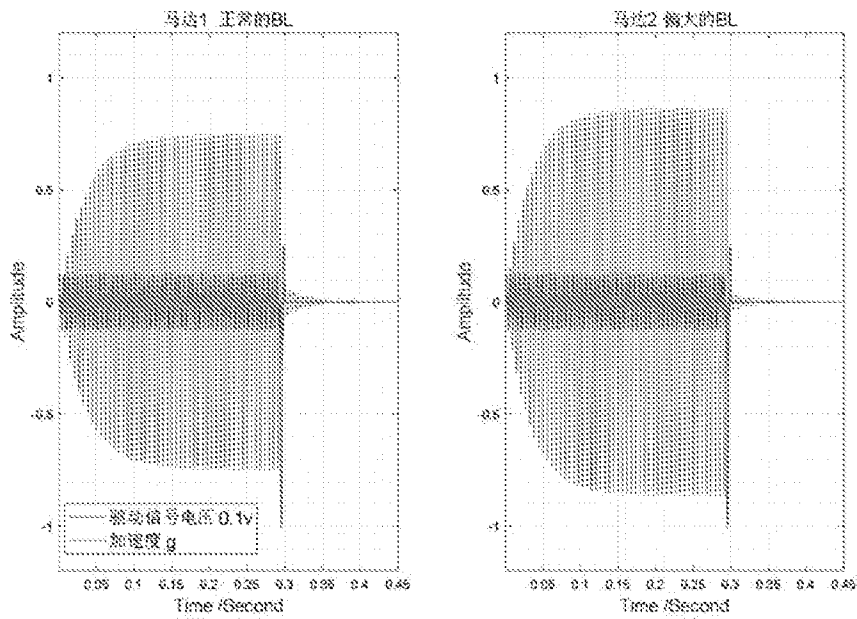


图 1

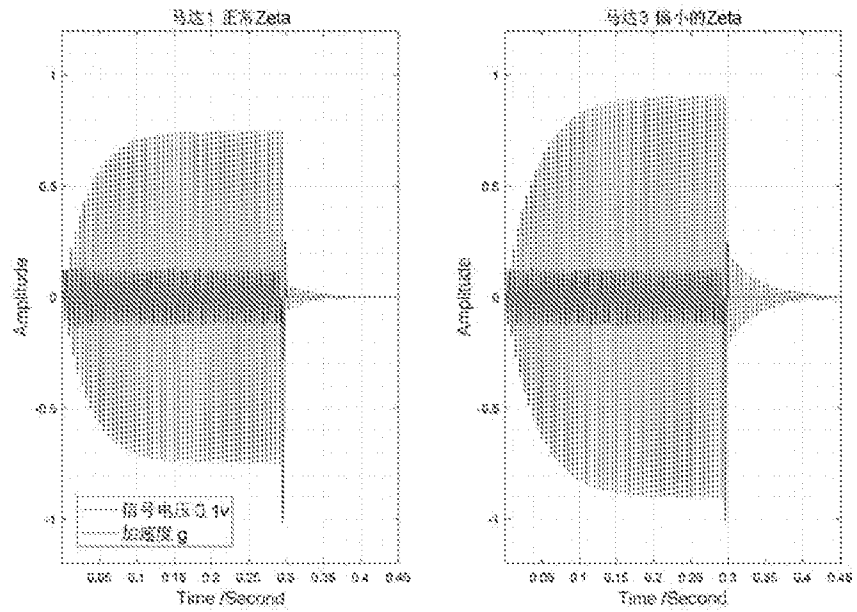


图 2

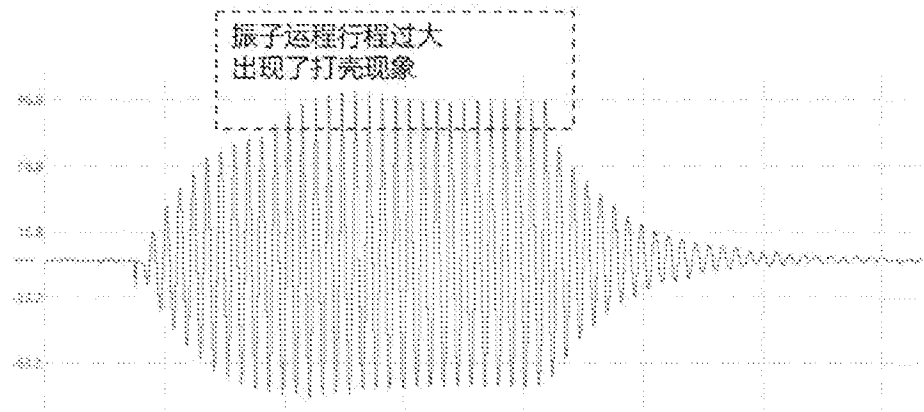


图 3

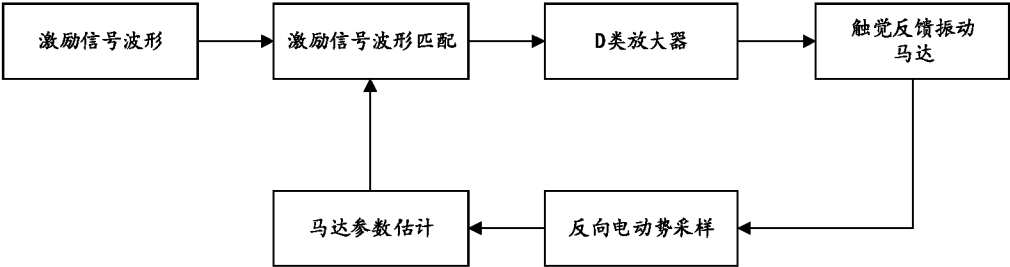


图 4

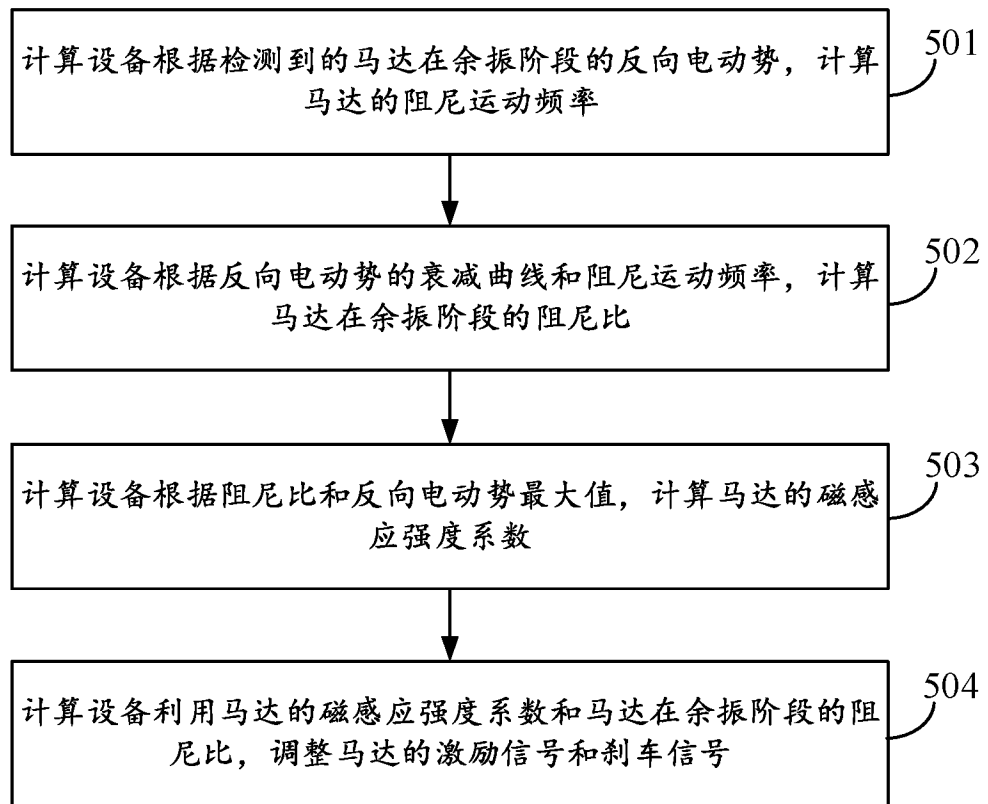


图 5

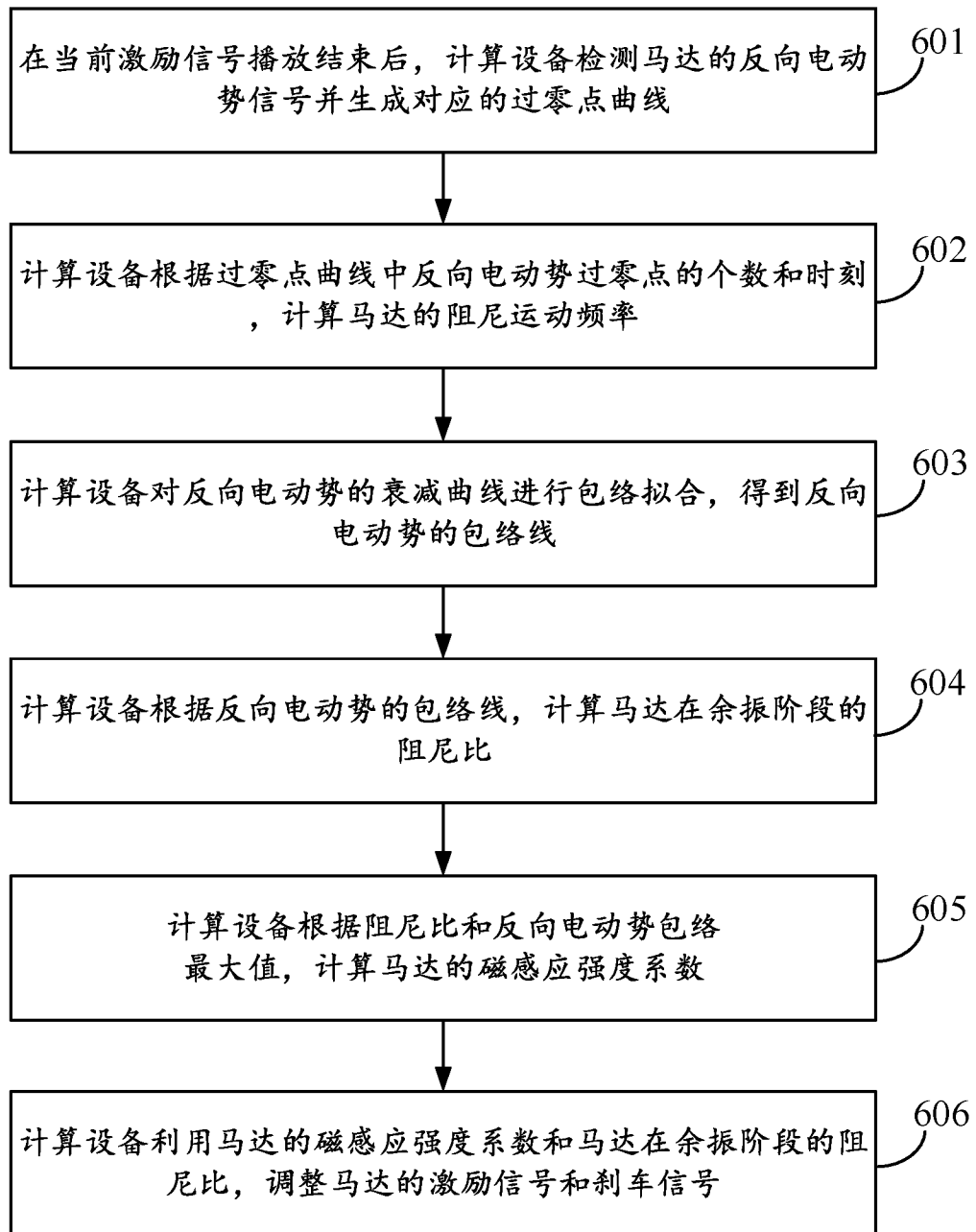


图 6

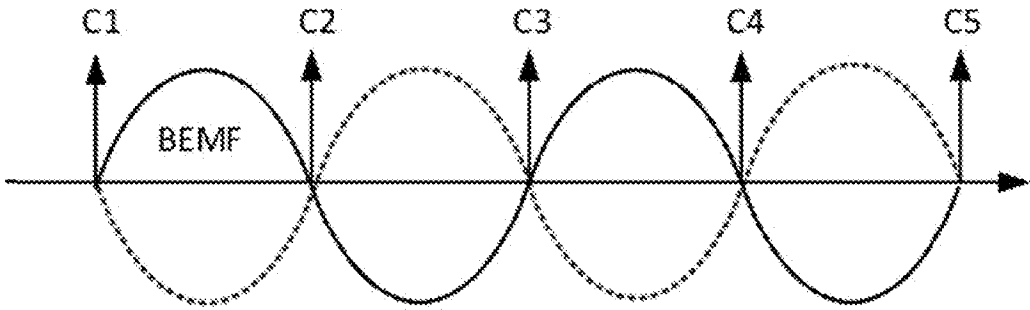


图 7

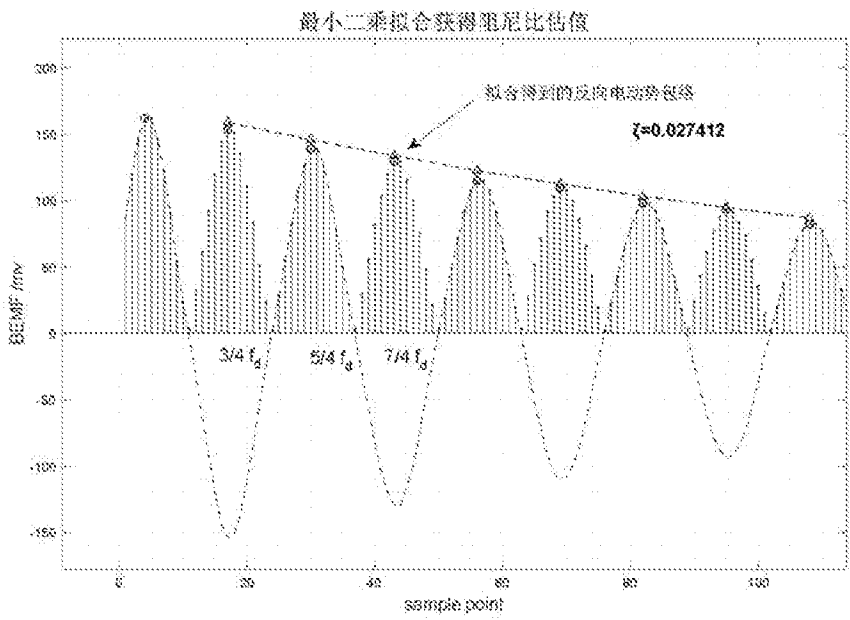


图 8

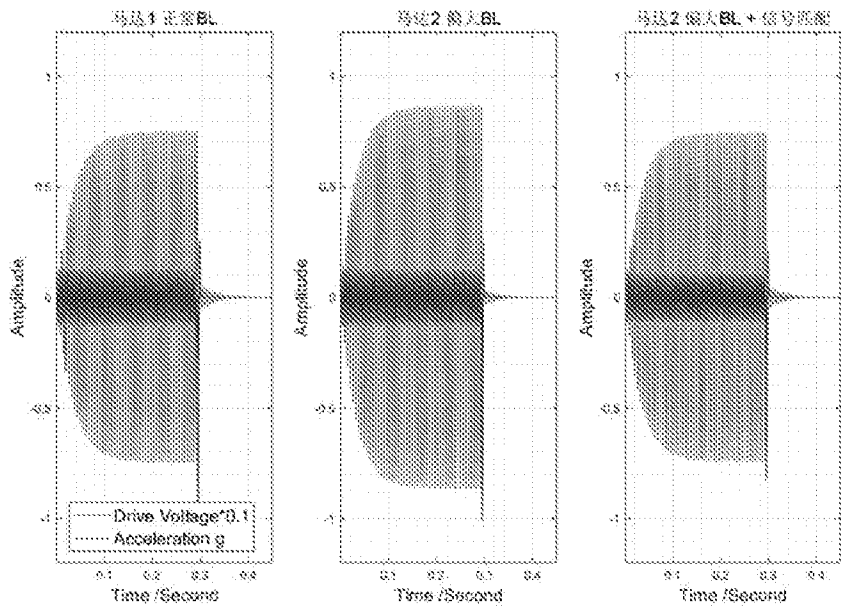


图 9

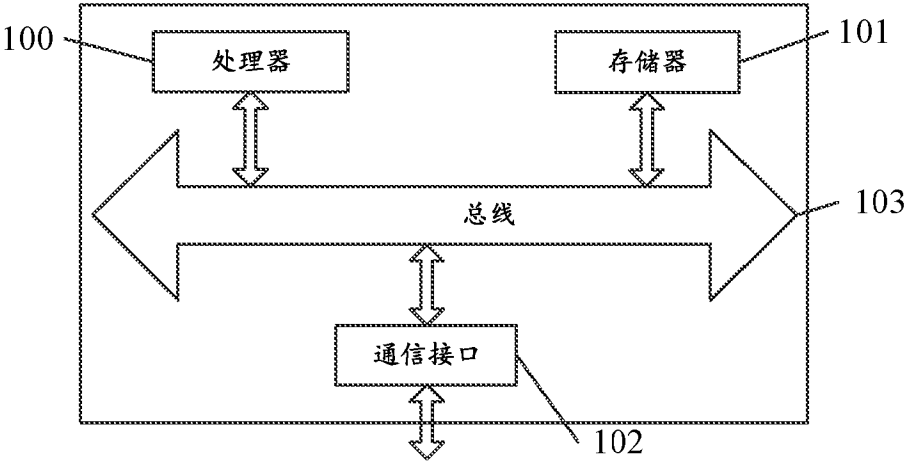


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/111165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P23/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:H02P、G06F3/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; DWPI; USTXT; WOTXT; EPTXT; CNKI; IEEE: 触觉反馈, 振动, 反电动势, 阻尼, 频率, 磁感应强度, 阻尼比, 过零点, haptic feedbacks, vibrate, back electromotive force, damping, frequency, magnetic field intensity, damping ratio, zero-crossing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 111220263 A (SHANGHAI AWINIC TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 June 2020 (2020-06-02) description, paragraphs 51-102	1-12
A	CN 115097203 A (SHANGHAI FOURIER SEMICONDUCTOR CO., LTD.) 23 September 2022 (2022-09-23) description, paragraphs 103-131	1-12
A	CN 110875599 A (YUNNAN POWER GRID CO., LTD. et al.) 10 March 2020 (2020-03-10) entire document	1-12
A	CN 112020398 A (CIRRUS LOGIC INTERNATIONAL SEMICONDUCTOR LTD.) 01 December 2020 (2020-12-01) entire document	1-12
A	US 2021303073 A1 (NIDEC COPAL CORP.) 30 September 2021 (2021-09-30) entire document	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 January 2024

Date of mailing of the international search report

08 February 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/111165

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111220263	A	02 June 2020	None			
CN	115097203	A	23 September 2022	None			
CN	110875599	A	10 March 2020	None			
CN	112020398	A	01 December 2020	WO	2019180425	A1	26 September 2019
				EP	3768440	A1	27 January 2021
				US	2019294247	A1	26 September 2019
				US	10795443	B2	06 October 2020
				CN	112020398	B	11 March 2022
US	2021303073	A1	30 September 2021	JP	2021157513	A	07 October 2021
				JP	7373445	B2	02 November 2023
				US	11379045	B2	05 July 2022

A. 主题的分类

H02P23/14(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:H02P、G06F3/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;VEN;DWPI;USTXT;WO TXT;EPTXT;CNKI;IEEE:触觉反馈, 振动, 反电动势, 阻尼, 频率, 磁感应强度, 阻尼比, 过零点, haptic feedbacks, vibrate, back electromotive force, damping, frequency, magnetic field intensity, damping ratio, zero-crossing

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 111220263 A (上海艾为电子技术股份有限公司) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第51-102段	1-12
A	CN 115097203 A (上海傅里叶半导体有限公司) 2022年9月23日 (2022 - 09 - 23) 说明书第103-131段	1-12
A	CN 110875599 A (云南电网有限责任公司 等) 2020年3月10日 (2020 - 03 - 10) 全文	1-12
A	CN 112020398 A (思睿逻辑国际半导体有限公司) 2020年12月1日 (2020 - 12 - 01) 全文	1-12
A	US 2021303073 A1 (NIDEC COPAL CORP) 2021年9月30日 (2021 - 09 - 30) 全文	1-12

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年1月27日

国际检索报告邮寄日期

2024年2月8日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

白超

电话号码 (+86) 020-28950411

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/111165

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	111220263	A	2020年6月2日	无			
CN	115097203	A	2022年9月23日	无			
CN	110875599	A	2020年3月10日	无			
CN	112020398	A	2020年12月1日	WO	2019180425	A1	2019年9月26日
				EP	3768440	A1	2021年1月27日
				US	2019294247	A1	2019年9月26日
				US	10795443	B2	2020年10月6日
				CN	112020398	B	2022年3月11日
US	2021303073	A1	2021年9月30日	JP	2021157513	A	2021年10月7日
				JP	7373445	B2	2023年11月2日
				US	11379045	B2	2022年7月5日